

電子レンジでinstantにインスタントコーヒーを作ろう

チーム名：嗜好のメニュー

代表者氏名：山本 隆啓

所属：東京電機大学 工学部理学系 吉武研究室

《実験背景》

アサヒ飲料のアンケートによると、大学生とビジネスマンの中でコーヒーは気持ちよく一日をスタートさせるための必需品であるようだ。^[1]しかし、インスタントコーヒーを1杯だけ飲もうとするとき、ポットでお湯を沸かしたのでは時間がかかってしまうし、たった1杯のために多量のお湯を沸かすのはもったいない。そこで、素早くて手軽な電子レンジによる加熱を思いついたが、突沸という現象が起こり、コーヒーが吹きあがることがあるようだ。^[2]電子レンジの突沸の原因を探り、これを改善しコーヒーを素早く手軽に飲める方法を見つける必要があると考えた。

《実験目的》

電子レンジでインスタントコーヒーをまさに”instant”で作る

《原理》

電子レンジで使われているマイクロ波の周波数は2.45GHz(1秒間に24億5000万回振動)であり、この振動で水分子を回転させている。水分子などの極性分子と呼ばれるプラス極とマイナス極を持っている分子にマイクロ波が照射されると、マイクロ波の電場が振動し、分子がそれに合わせて向きを変える。その運動が振動、並進運動に伝わり水分子は熱くなる。食品を構成しているほかの分子も水分子に接しているため、食品全体が熱平衡状態になり、温められていく。電子レンジの電磁波の発生源としては、マグネトロンという真空管の一種が使われている。

水以外にも極性分子なら同じようにマイクロ波の振動で運動し始めるが、水分子がもっとも効率よく動き出す。したがって、水を含まないガラスや陶器では、マイクロ波の大部分がそのまま通り抜けていき、加熱されることはない。つまり、容器を温めることなく、直接中の食品を加熱している。実際に取り出したときに容器が熱くなっているのは、中の食品が熱いので、その熱が容器に伝わったものである。また、金属はマイクロ波を反射してしまうので、金属性の容器は使えない。

《実験器具，実験試薬》

- ・水道水
- ・食塩
- ・電子レンジ(SHARP RE-S26B-S)
- ・電子天秤
- ・インスタントコーヒー(ネスレ株式会社：Nescafe Excella)
- ・ビーカー(100ml、200ml、500ml、1000ml)

《実験方法》

【実験1】インスタントコーヒーは本当に突沸するのか確かめる

- ① 紙コップにインスタントコーヒーを小さじ一杯取り、水を入れた。
- ② レンジ出力 500W で 3 分加熱を行った。

【実験2】何分で水 100 g が突沸するのか時間を測定する

- ① ビーカー(100ml)に水 100 g を取り、レンジ出力 500W で 5 分間加熱を行った。
- ② 実験後の水の量の変化を観察した。

【実験3】水の量を一定として，食塩の濃度を変えて実験を行う

- ① ビーカーに水 100 g、食塩 10 g を電子天秤で量り取り、ガラス棒でよくかき混ぜた。
- ② レンジ出力 500W で 4 分間加熱を行った。
- ③ 以上の操作を食塩の量を 20 g、30 g に変えて実験を行った。

【実験4】水の量を 100ml 一定で、100ml、200ml、500ml、1000ml のビーカーに入れレンジで加熱を行う

- ① メスシリンダーで 100 g の水を測り取った。
- ② 電子レンジに入れ出力 500W で加熱し、中での様子を観察した。なお、突沸をして危険性を感じた時に実験を中断した。
- ③ 実験後の時間経過による温度変化を表にまとめた。

【実験5】 水の量を100ml一定で、100ml、200ml、500ml、1000mlのビーカーに入れレンジ加熱および投げ込みヒーターによる加熱を行う

- ① メスシリンダーで100gの水を測り取った。
- ② それぞれのビーカーに移し入れる。
- ③ 電子レンジに入れ出力500Wで加熱し、中での様子を観察した。なお、突沸をして危険性を感じた時に実験を中断した。
- ④ 加熱方法を投げ込みヒーターを用いて上記の実験を行った。試験管ハサミでビーカーを掴み恒温槽に入れ温度が100℃付近になった時に取りだした。
- ⑤ 電子レンジおよび投げ込みヒーターでの加熱後の時間経過による温度変化を観察した。

《実験結果》

【実験1】



図1 コーヒーの突沸

紙コップにインスタントコーヒーを小さじ一杯入れ、レンジの出力500Wで4分加熱したところ、コーヒーは、約2分で突沸した。

【実験 2】

水 100 g、レンジ出力 500W で 5 分加熱を行った。

表 1 ビーカー100ml-水 100(g)での加熱

経過時間 (s)	起こった現象
47	ガラスの淵に水滴が付き曇る。
87	小さな泡(5mm くらい)が出てくる。
97	中くらいの泡(7mm くらい)。
101	勢いよく突沸する。
108	泡の出現が落ち着き始める。
110	泡が一瞬収まる。

実験後のビーカーの水の目盛りは 110ml から 80ml まで減少していた。

【実験 3】

水 100 g に食塩 10 g、20 g を溶かした時の実験結果を次に示す。

表 2 水 100(g)-食塩 10(g)での実験結果

経過時間 (s)	起こった現象
17	液体表面に小さな泡が発生した。
42	泡が徐々に大きくなってきた。ビーカーの目盛りが 110ml だったのが 100ml 程度にまで減っていた。
145	突沸が起こる。泡が大きくなり水が漏れる。
169	レンジの窓がくもり、観測不可。

実験後のビーカーの水の目盛りは 120ml から 90ml まで減少していた。

表 3 水 100(g)-食塩 20(g)での実験結果

経過時間 (s)	起こった現象
13	液体表面に小さな泡が発生した。
103	目盛りが 110ml ぐらいに減少。
170	突沸が生じる。泡が大きくなり水が勢いよく外に吹き出す。
185	何度も吹きこぼれる。
204	レンジの窓がくもり、観測不可。

実験後のビーカーの水の目盛りは 130ml から 90ml まで減少していた。



図2 水 100 g -塩 10 gに見られた小泡



図3 水 100 g -塩 20 gに見られた突沸

【実験4】

水 100 g でレンジ出力 500W の加熱条件下で実験を行った。ビーカー200ml、500ml、1000ml の時の中の様子を次の表に示す。

表4 ビーカー200ml-水 100(g)での加熱

経過時間 (s)	起こった現象
84	ガラスの淵に水滴が付き曇る。
98	7mm くらいの泡が生じる。
102	10mm くらいの泡が多数生じる。
108	20mm くらいの大きい泡が生じる。
180	突沸を起こした。

表5 ビーカー500ml-水 100(g)での加熱

経過時間 (s)	起こった現象
109	5mm くらいの泡が生じる。
180	5mm くらいの泡多数。
136	7mm くらいの泡多数。
175	泡が一瞬おさまる。
225	10mm 以上の泡が発生。

表 6 ビーカー1000ml-水 100(g)での加熱

経過時間 (s)	起こった現象
106	5mm くらいの泡が生じる。
116	5mm くらいの泡多数。
136	7mm くらいの泡発生。
175	泡が一瞬おさまる。
225	10mm 以上の泡が生じる。

表 7 ビーカー(100ml)の加熱時間と温度上昇

時間(s)	質量(g)	加熱前(°C)	加熱後(°C)	加熱後平均(°C)	上昇温度(°C)	上昇温度平均(°C)
90	99.99	20.5	87.3	88.05	66.8	67.55
	99.98	20.5	88.8		68.3	
100	100.01	20.4	97.4	97.65	77	77.2
	100.01	20.5	97.9		77.4	
110	100.01	20.6	94.9	94.95	74.3	75.8
	100.02	17.7	95		77.3	
120	100	19.2	99.2	97.9	80	79.8
	100	17	96.6		79.6	
130	100.01	18.8	97.2	97.9	78.4	79.7
	100.01	17.6	98.6		81	

表 8 ビーカー(200ml)の加熱時間と温度上昇

時間(s)	質量(g)	加熱前(°C)	加熱後(°C)	加熱後平均(°C)	上昇温度(°C)	上昇温度平均(°C)
90	100.02	20.8	83.3	83.3	62.5	62.6
	100.02	20.6	83.3		62.7	
100	99.99	20.5	94.6	92.95	74.1	72.25
	100	20.9	91.3		70.4	
110	100.02	20.1	94.2	94.4	74.1	74.1
	100.04	20.5	94.6		74.1	
120	100.01	19.1	97.5	95.95	78.4	77.25
	100	18.3	94.4		76.1	
130	100.02	19.3	97.2	97.25	77.9	78.85
	100.01	17.5	97.3		79.8	

表 9 ビーカー(500ml)の加熱時間と温度上昇

時間(s)	質量(g)	加熱前(°C)	加熱後(°C)	加熱後平均(°C)	上昇温度(°C)	上昇温度平均(°C)
90	100.09	20.4	75.4	75.4	55	54.55
	100.01	21.3	75.4		54.1	
100	100.04	20.5	82.9	82.3	62.4	61.6
	99.99	20.9	81.7		60.8	
110	100.01	20.3	89	87.25	68.7	68.55
	100	17.1	85.5		68.4	
120	100	18.6	91.5	90.55	72.9	72.3
	100.01	17.9	89.6		71.7	
130	100.01	19.4	86.9	86.6	67.5	67.3
	100.02	19.2	86.3		67.1	
140	100.01	22.9	92.5	88.75	69.6	66.2
	100.05	22.2	85		62.8	

表 10 ビーカー(1000ml)の加熱時間と温度上昇

時間(s)	質量(g)	加熱前(°C)	加熱後(°C)	加熱後平均(°C)	上昇温度(°C)	上昇温度平均(°C)
90	100.01	20.6	72.4	72.55	51.8	52
	100	20.5	72.7		52.2	
100	100	20.2	76.8	78.1	56.6	57.7
	100	20.6	79.4		58.8	
110	100	18.1	82.7	83.75	64.6	64.95
	100	19.5	84.8		65.3	
120	100.01	20	77.4	79.15	57.4	59.5
	100	19.3	80.9		61.6	
130	100	18.8	91.2	88.1	72.4	69.1
	100.01	19.2	85		65.8	
140	100	23	82.4	83.8	59.4	61.15
	100.05	22.3	85.2		62.9	

【実験 5】

水 100 g でレンジ出力 500W の加熱条件下で実験を行った。初期温度を計測し 90s、100s、110s、120s、130s、140s の加熱時間経過後の温度を表にまとめる。ビーカー100ml、200ml、500ml、1000ml の順に次に示す。

表 11 ビーカー(100ml)の時の温度変化

放置時間(min)	電子レンジ(°C)	投げ込み(°C)
0	97.2	100.8
1	92.4	93.9
2	87.2	88.8
3	83.1	84.4
4	79.6	80.9
5	76.3	78
6	73.6	75
7	71.2	72.8
8	69	70.4
9	66.9	68
10	65	66.6

表 12 ビーカー(200ml)の時の温度変化

放置時間(min)	電子レンジ(°C)	投げ込み(°C)
0	103.1	98.4
1	92.5	91
2	86.2	85.5
3	81.4	80.9
4	76.9	76.8
5	73.5	73.3
6	70.5	70.3
7	67.7	67.8
8	65.3	65.5
9	62.8	63.3
10	61	61.5

表 13 ビーカー(500ml)の時の温度変化

放置時間(min)	電子レンジ(°C)	投げ込み(°C)
0	98.1	100.4
1	83.1	90
2	76.2	82.4
3	70.8	76.6
4	66.7	71
5	62.9	67.5
6	59.9	64.3
7	57.2	61.6
8	55.5	58.7
9	53.7	56.9
10	51.8	54.9

表 14 ビーカー(1000ml)の時の温度変化

放置時間(min)	電子レンジ(°C)	投げ込み(°C)
0	91.5	92
1	75.6	79.4
2	67.5	68.6
3	62	61.4
4	57.7	56.7
5	54.2	53.3
6	51	50.6
7	48.5	47.9
8	46.2	46
9	44.5	44.6
10	42.8	42.8

《考察》

【実験 1】

紙コップにインスタントコーヒーでの突沸は生じることが分かった。水が原因なのかそれともコーヒーの成分が原因なのか考える必要がある。まずは水のみでの場合を検証したいと思う。

【実験 2】

水のみでの突沸も観察された。容器に原因があると我々は考え、水の容積は一定で容器の大きさを変えて実験を行ってみることにする。

【実験 3】

水に何か溶媒を溶質に溶かした際の突沸の影響を調べるために実験を行った。インスタントコーヒーを用いようと考えていたが、【実験 1】で非常に激しい突沸が見られ電子レンジを故障させる恐れがあった。その為、予備実験としてインスタントコーヒーの代わりに食塩を用いて実験を行った。

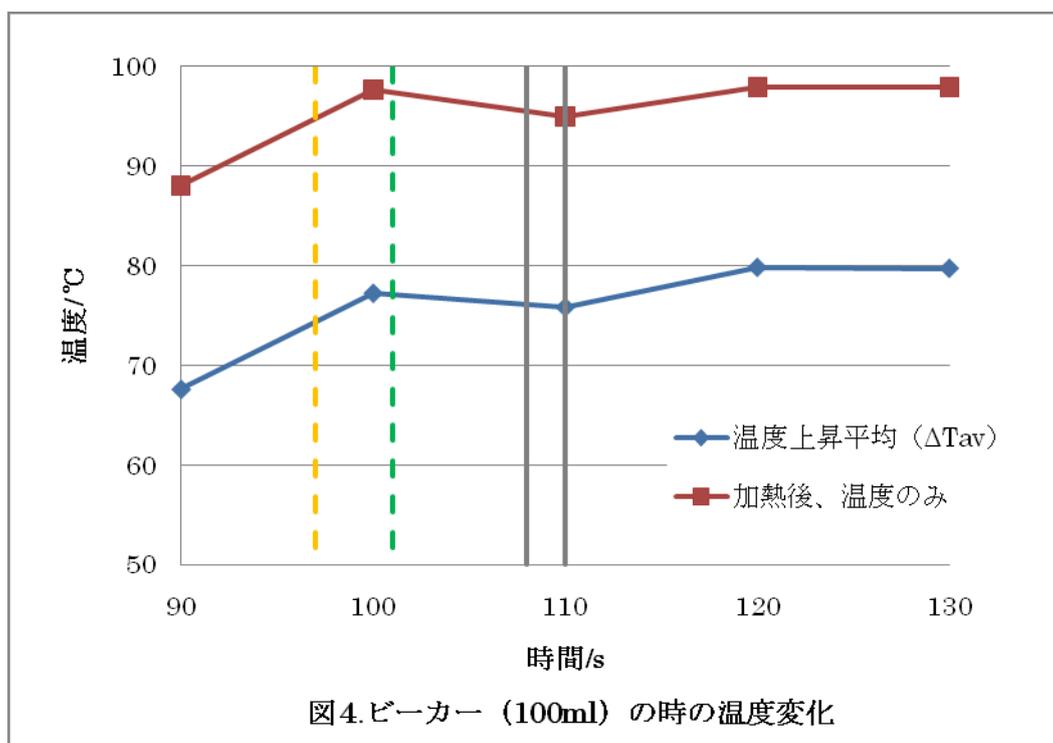
突沸の水に溶かす濃度が高い方が突沸までの時間が長くなっているが、突沸の激しさが大きくなっている印象を受けた。インスタントコーヒーの濃度の濃さの好みは人それぞれであるがそれほど大きな差は無くほぼ一定の値であると考えられる。その為、これ以上の濃度による突沸の変化を測定するのは見合わせることにした。

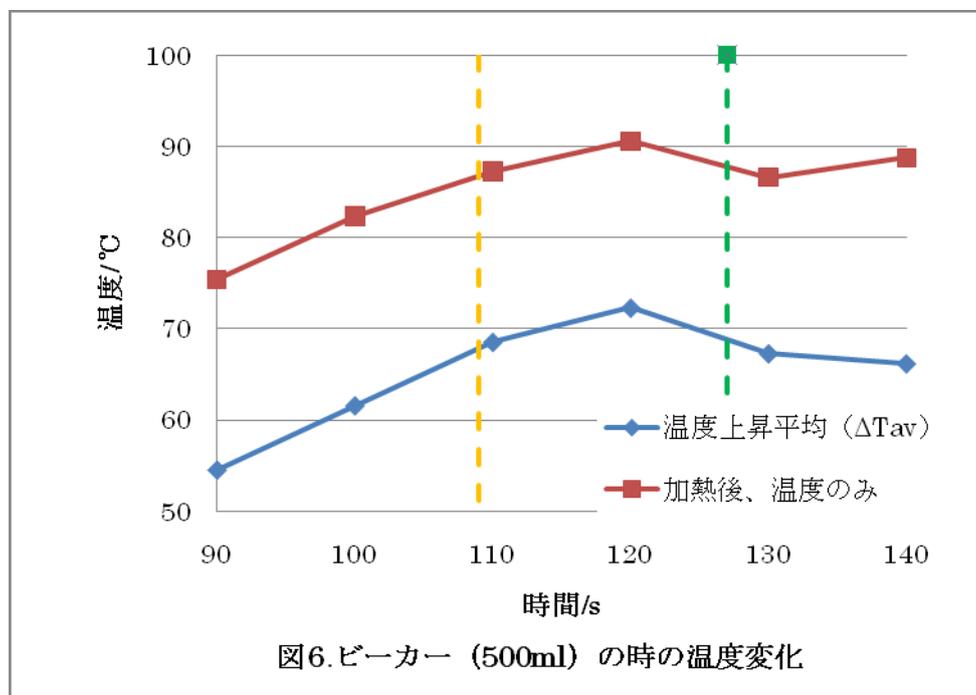
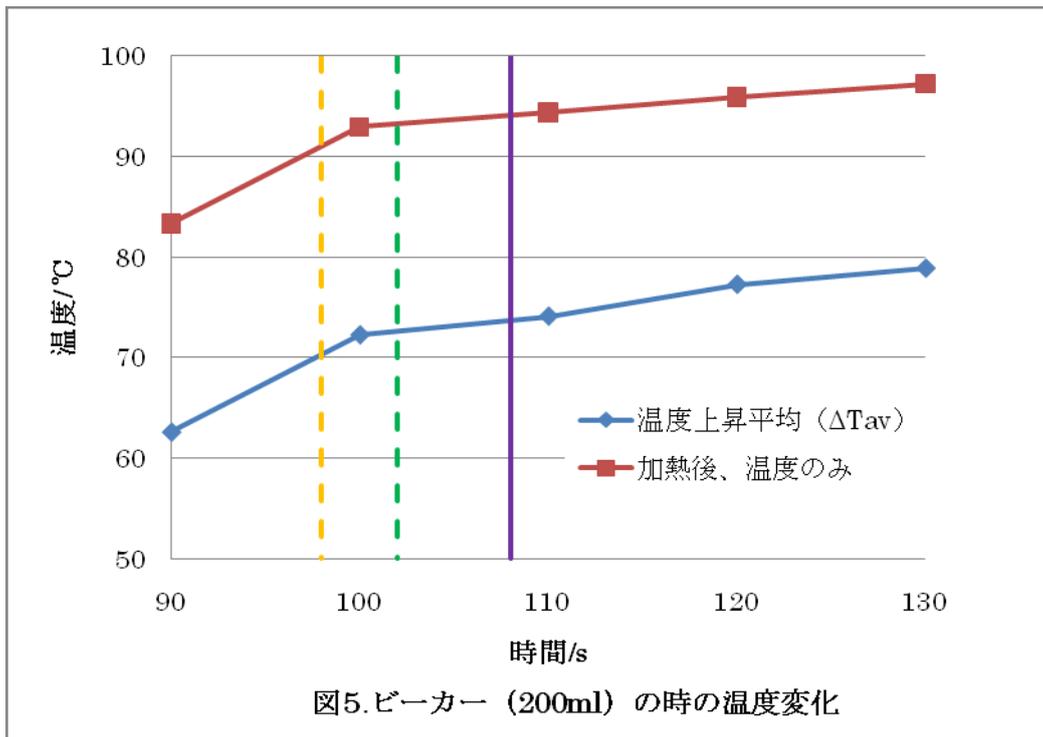
今後は水のみで実験し解析を行い、インスタントコーヒーの作り方に生かす事にする。

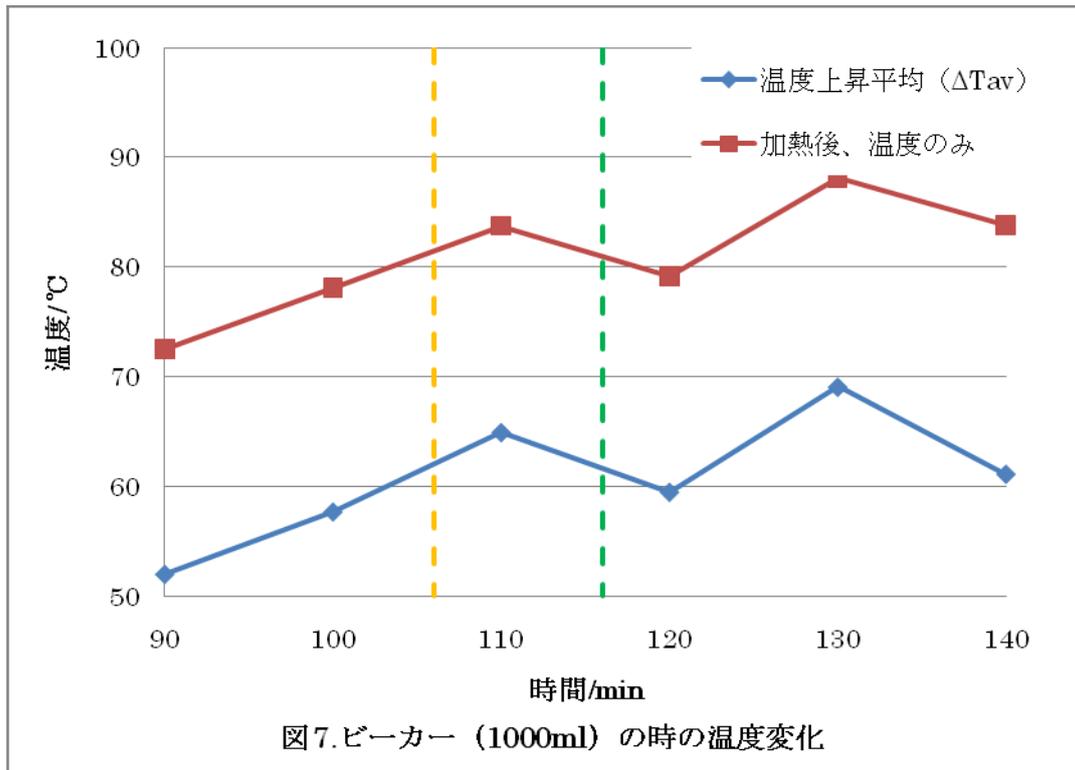
【実験 4】

表 7～10 の加熱後平均の温度と上昇温度の値の時間変化を図 4～7 とし次に示す。次に表 1、4～6 の時の変化を合わせて見てみる。黄色の点線で示したのが泡の発生を示す線、緑の点線で示したものは泡が多数発生した線である。（灰色および紫の実線は、それぞれ泡がおさまったときと、泡のサイズが大きくなった時を示している。）

図から見てとれるように、山の登り斜面の所で泡が生じており、山の下りの部分で泡が多数発生している様子が読み取れる。これは、泡の多数発生により水の内部がかき回されて熱の拡散が生じ温度が下がるのではないかと考えられる。







【実験5】

表 11～14 の結果をグラフで表したものをそれぞれ図 8～11 とする。これより容器にビーカーを用いた時には、時間経過における温度変化は投げ込みヒーターで暖めた場合と、電子レンジで加熱を行った時とで 500ml ビーカーの時以外はあまり差が生じていないのがわかる。容器が大きくなるにつれて測定の初期部分での傾きの変化が急になっているのは、ガラスに接していない液体の表面積が大きくなっているためであると考えられる。蒸発する際に気化熱として表面部分の温度を奪う為、蒸発する表面部分が多ければ多いほど温度の減少が大きいと思われる。

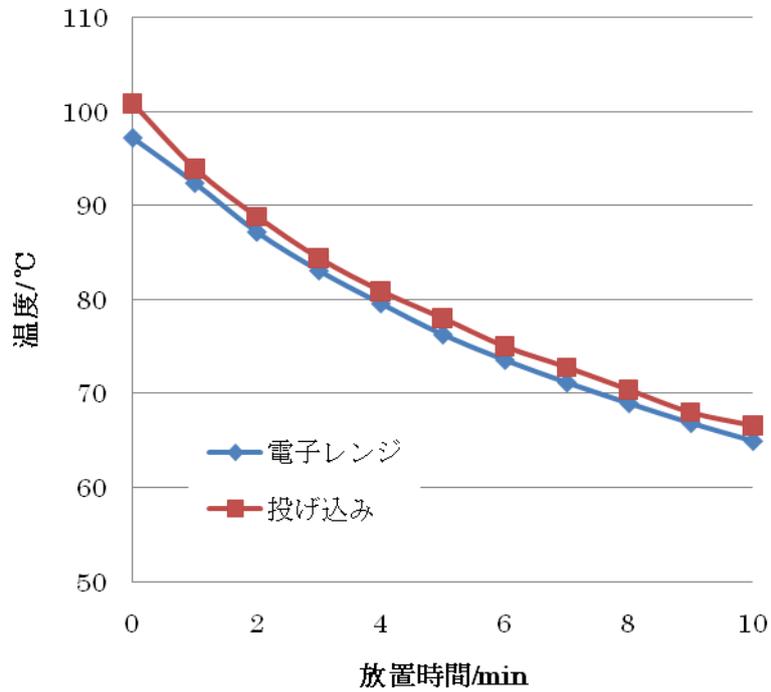


図8.ビーカー (100ml) の時の温度変化

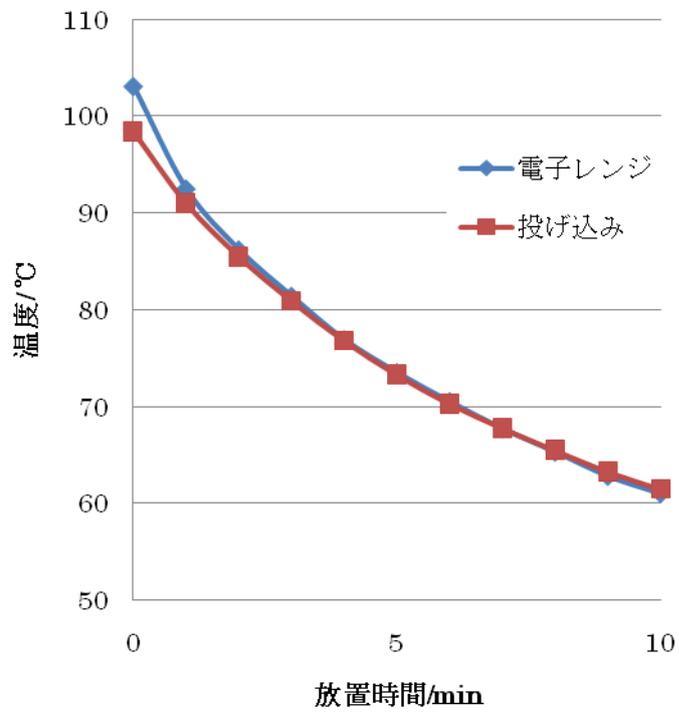
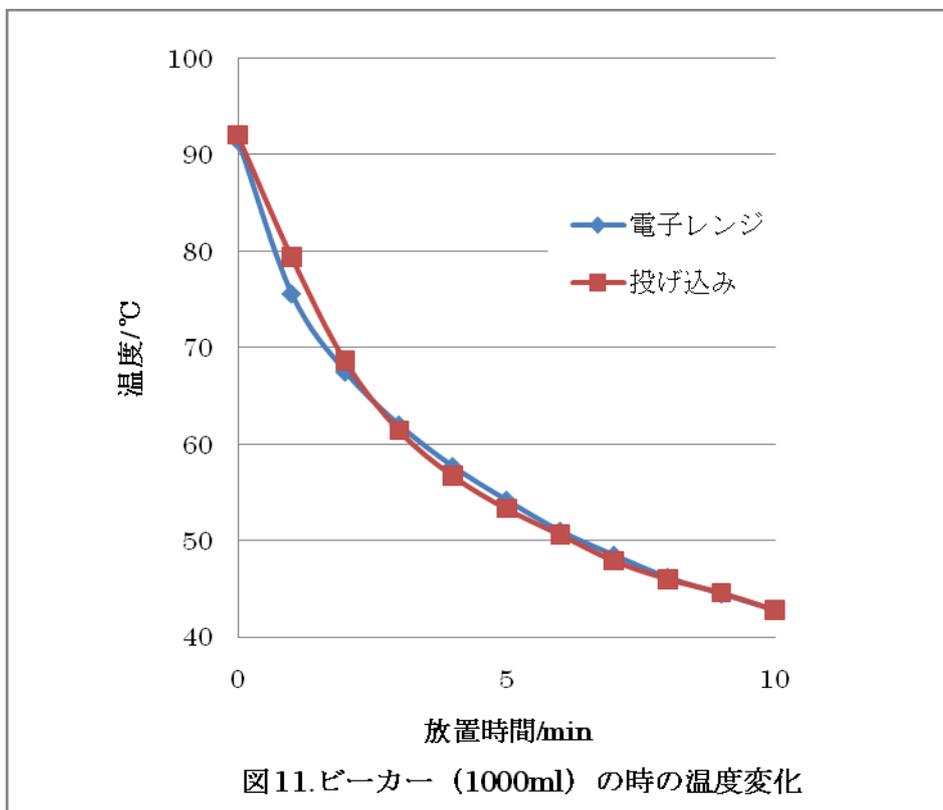
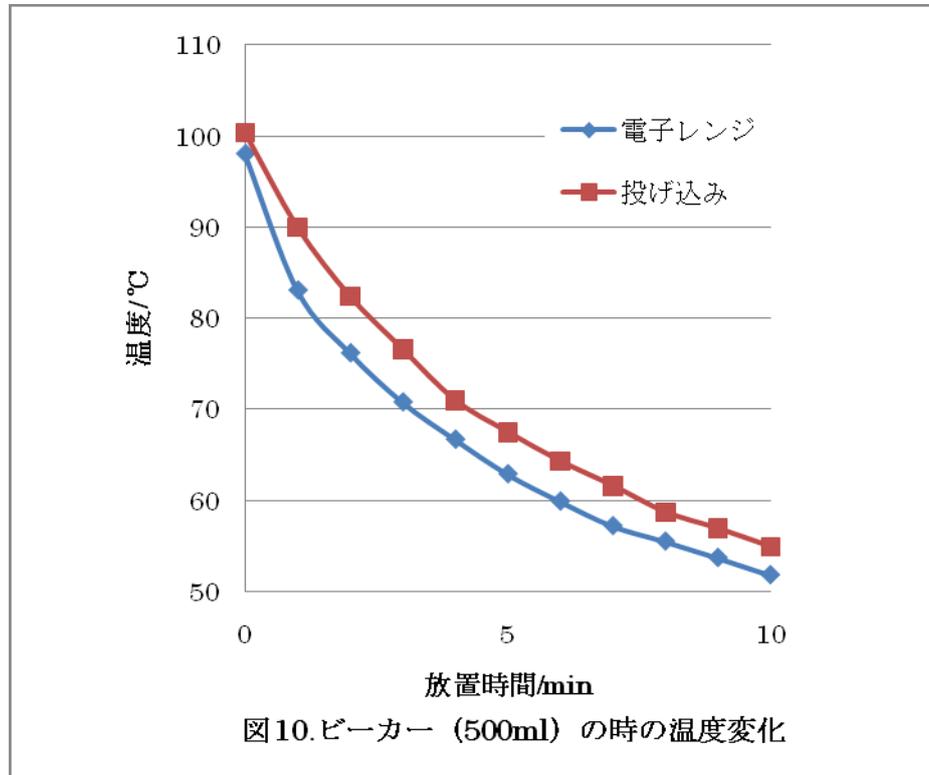


図9.ビーカー (200ml) の時の温度変化

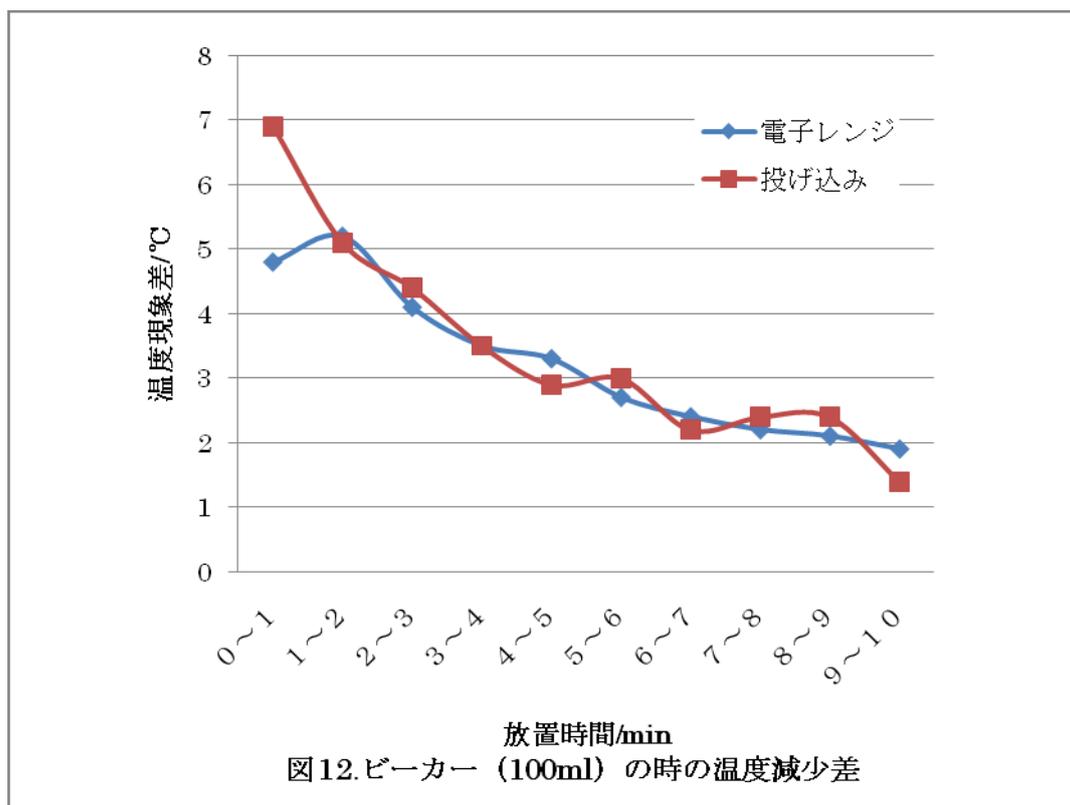


次に示すのが投げ込みヒーターによる加熱と、電子レンジによる加熱の1分間おきの温度変化をまとめたものである。

200ml、500ml、1000mlのビーカーは測定初期の温度変化が投げ込みヒーターよりも電子レンジのものによる加熱の方の傾きが大きくなっているのがわかる。これから、電子レンジの時の加熱はすぐに冷めやすいということが読み取れ、その原因は温度むらではないかと考えられる。温度むらが生じて高い温度部分と低い温度部分が生じ、時間がたつにつれて自然に対流を引き起こすことで、その部分が混ざりビーカー全体で一定の温度となると考えられる。

投げ込みヒーターは、均一にビーカー全体に温度が伝わっていると考えられる為、先ほど言った高い温度部分と低い温度部分との差温が少ないと思われる。その為、温度の変化の傾きは電子レンジほど急にはならない。

100mlビーカーの測定初期での温度変化が他の物とは異なるのは、測定した温度に温度むらが生じている箇所での測定になったのではないかと思う。特に温度むらの低温状態になっている箇所での測定となり、徐々に周りの対流の関係で温度が上昇し系全体でほぼ一定温度となり減少し始めるのではないかと思われる。



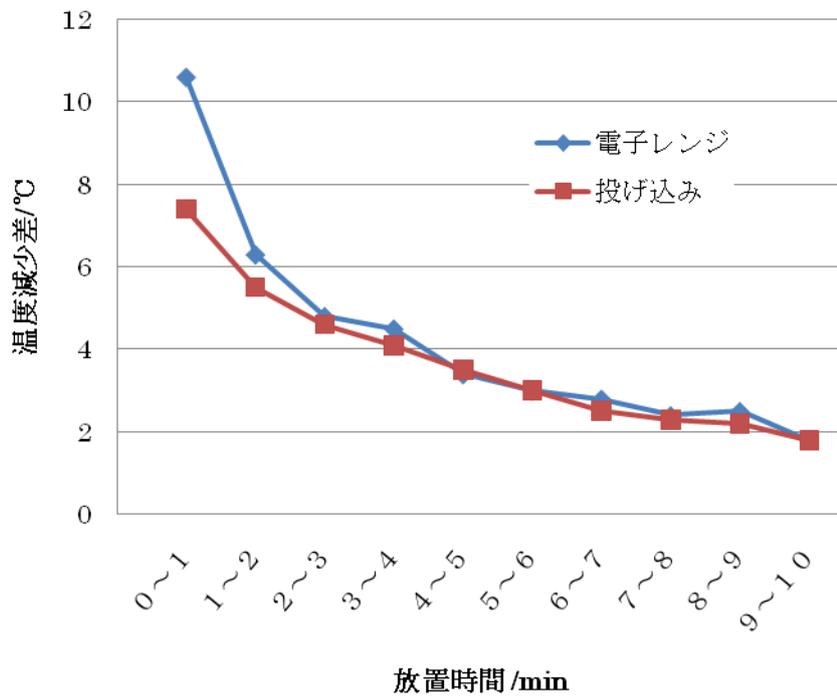


図13.ビーカー (200ml) の時の温度減少差

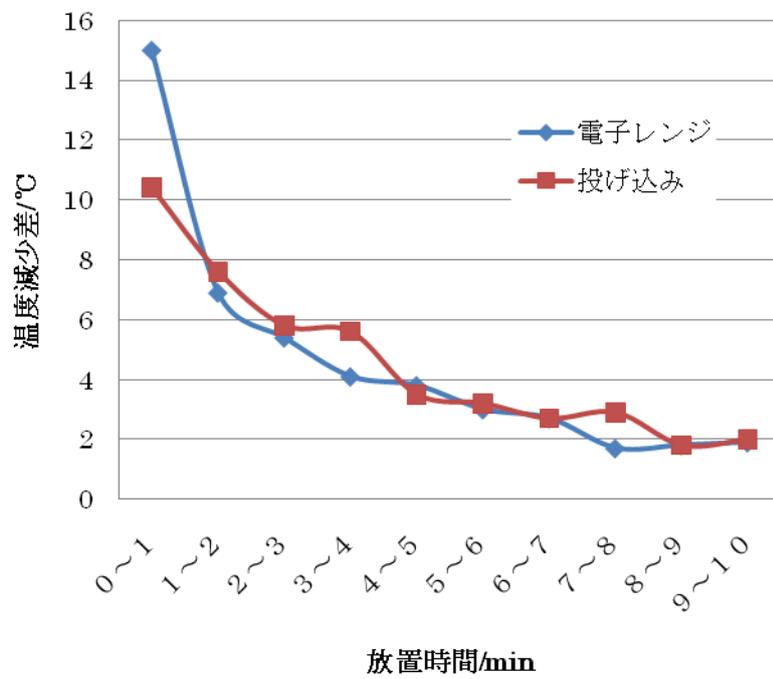
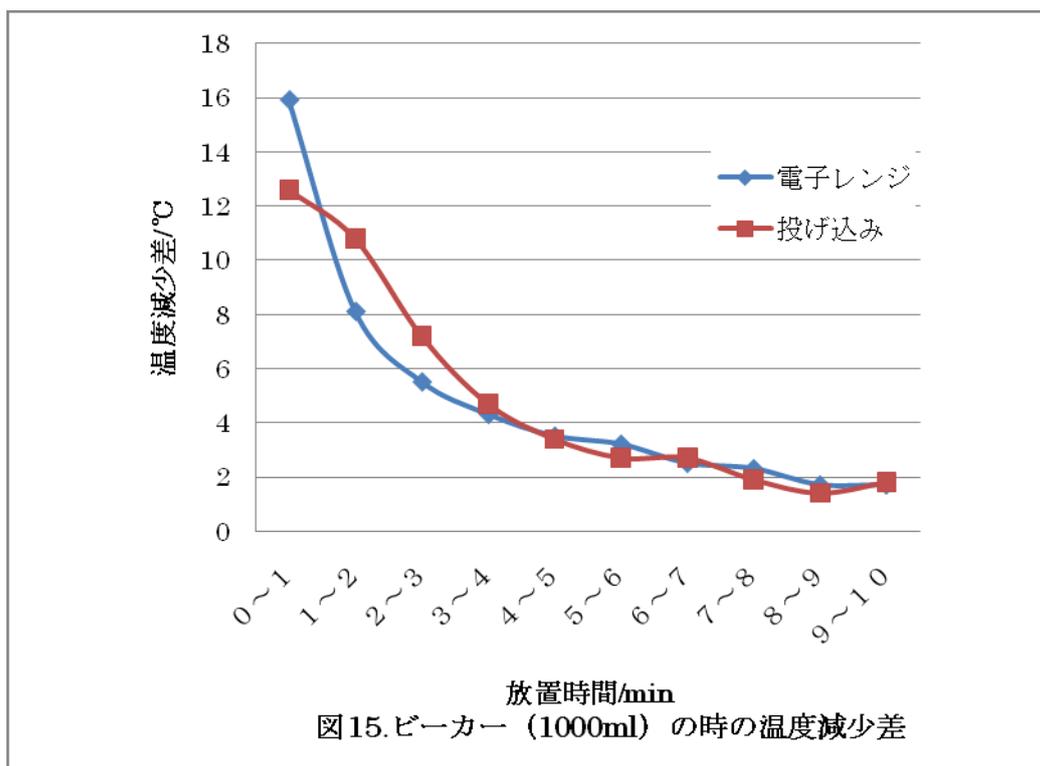


図14.ビーカー (500ml) の時の温度減少差



《結論》

【実験 1】

インスタントコーヒーではやはり突沸は起こる。

【実験 2】

レンジ内のターンテーブルに水がこぼれていたことから、水の減少は蒸発よりも突沸による水の流出が大きいと考えられる。

【実験 3】

食塩の濃度が濃くなるほど、最初の小さな泡が現れる時間が短くなっている。また、突沸までの時間も延びており、吹き出す威力も上がっているように思える。

【実験 4】

泡の多数発生により水の温度が下がっていることが確認できた。

【実験 5】

投げ込みヒーターと電子レンジによる加熱では加熱後初期以外はほぼ同じような温度変化の挙動が見られる。初期部分は電子レンジの方が熱の変化が大きい。

《参考資料》

国民生活センター，”電子レンジを安全に使うために”

http://www.kokusen.go.jp/ncac_index.html

アサヒ飲料，”朝価値調査”

<http://www.asahiinryo.co.jp/wonda/asakachi/top.html>